



23 al 27 de noviembre de 2020

Construcción, caracterización, modelo físico y simulación de un colector solar de aire de tipo plano y paso paralelo de flujo

Gonzalo Durán ^{a*}, Miguel Condori ^b

^a *INENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.*

Mail: gonzalo.jose.duran@gmail.com

^b *INENCO, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina.*

Resumen

Se presenta la construcción, caracterización, modelo físico y simulación de un prototipo de colector solar plano, con paso paralelo de flujo de aire, destinado al secado solar industrial de productos agrícolas. Las dimensiones son 9.76 m x 0.94 x 0.1 m. El cuerpo está construido en chapa cinc plegada, aislación en lana de vidrio de 0.05 m, una chapa ondulada pintada en negro mate de absorbedor, y una cubierta de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor, con tratamiento UV.

Los ensayos se realizaron en el campus del INENCO, UNSa (Salta, Argentina). Se midieron temperatura ambiente y temperatura de flujo en seis puntos, radiación solar global sobre plano de colección, y velocidad de flujo. La eficiencia térmica es del 60%, flujo de 0.25 kg/s a 0.47 kg/s, y delta T de flujo de 20 a 25°C, con flujo de calor útil de 2500 a 4500 J/s. Se simuló el prototipo tomando como entrada temperatura ambiente, flujo de aire y radiación solar; contrastando los resultados medidos y simulados de temperatura de flujo, observando ajuste adecuado

Palabras clave: secado solar, simulación, colector solar de aire, Simusol .

23 al 27 de noviembre de 2020

Introducción:

En el diseño de colectores solares de aire (SAH) de eficiencia mejorada se aplican diversas estrategias para incrementar la transferencia de calor desde el absorbedor al fluido circulante.

El uso de chapas onduladas como absorbedor presenta varias ventajas. La más destacable es el incremento en 10% del área de absorbedor respecto al de una chapa plana. La presencia de las ondulaciones otorga mayor rigidez estructural. Además, la transferencia de calor mejora si se orienta el absorbedor con las ondulaciones transversales a la dirección del flujo de aire (Romhdame, [1]; Plotter, [2]; Metwally et al., [3], Wijeyesundera, et al [4], Karsili, et al [5]). Finalmente, pueden plantearse modificaciones a la circulación del flujo mediante el paso doble de flujo, ya sea en forma paralela o en contra corriente.

Construcción del prototipo:

Las dimensiones son 9.76 m x 0.94 x 0.1 m. El cuerpo está construido en chapa cinc plegada, aislado con lana de vidrio de 0.05 m. Como absorbedor una chapa ondulada pintada en negro mate. La cubierta es una hoja de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor, con tratamiento UV. El cerramiento de la cubierta y de los módulos entre sí es hermético, utilizando pegamento y remaches POP. La figura 1 muestra un esquema de sección transversal con elementos constituyentes, y las figuras 2 a 5, instancias en la construcción del prototipo.

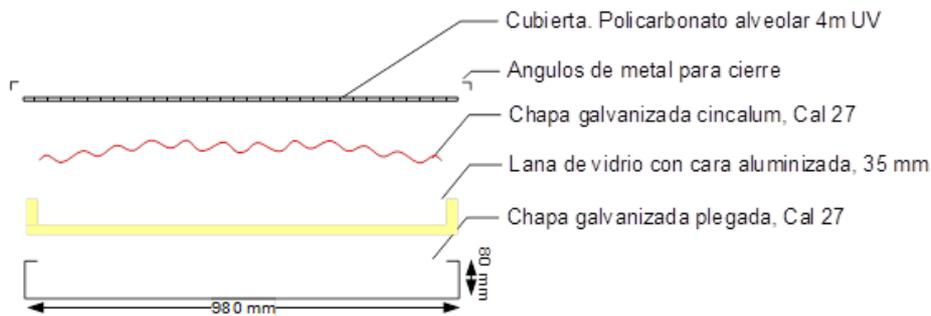


Figura 1. Esquema de sección transversal del colector.

Ensayos del prototipo:

Se ensayó el prototipo durante catorce días, en los meses de junio y diciembre en el campo experimental del INENCO, UNSa, Salta (lat: 24°48" S, long: 65°25" OE), desde la 11:00 (hora local), hasta hora 15:00, en un lapso de cuatro horas alrededor del mediodía solar. El prototipo fue colocado hacia el norte, en un soporte que permite movimiento acimutal.

23 al 27 de noviembre de 2020

Se midieron temperatura ambiente y temperatura de flujo en seis puntos, radiación solar global sobre plano de colección, y velocidad de flujo



Figuras 2 a 5. Construcción del prototipo.

Resultados. Análisis del lote de ensayos

La tabla 1 muestra un resumen de los resultados de flujo, eficiencia, salto térmico ($T_{out} - T_{in}$) y T_{amb} . El cálculo del salto térmico ha sido realizado considerando el valor promedio de las medidas de temperaturas por arriba y debajo del absorbedor tomadas en la entrada y salida del colector.

Las figuras 6 y 7 muestran las medidas de salto térmico y la potencia entregada por el colector, considerando la expresión usual (1). El cálculo de Q_u se realizó considerando el flujo total de aire, m , medido en los puntos de entrada y salida del colector, donde se recogen las contribuciones de cada canal.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

La figura 8 muestra el cálculo de eficiencia, en función del caudal de aire circulante. Los puntos azules indican el valor medio de eficiencia para cada día de ensayo, de acuerdo a lo expresado en la Tabla 1. Al variar el caudal de aire se obtiene una curva parabólica, cuyo ajuste polinomial se muestra con línea sólida.

Se observa que existe un intervalo con caudales que varía de 0.25 kg/s a 0.45 kg/s, donde la eficiencia es máxima, del orden de 0.6 a 0.63. Como es de esperar, caudales extremos llevan a bajos valores de eficiencia, ya que la remoción de calor es deficiente.



23 al 27 de noviembre de 2020

día	fecha	flujo (kg/s)	η media	(To-Ti) Max (°C)	(To-Ti) Min (°C)	(To-Ti) Med (°C)	Tamb Max (°C)	Tamb Min (°C)	Tamb Med (°C)
1	4-6	0.13	0.47	30.54	5.61	20.05	21.40	12.20	18.33
2	5-6	0.11	0.41	27.85	20.95	25.30	24.00	13.00	20.14
3	6-6	0.24	0.52	18.84	0.00	15.09	23.50	13.90	20.34
4	7-6	0.45	0.52	15.25	4.69	8.31	22.50	19.00	21.38
5	10-6	0.7	0.38	5.40	-2.34	1.21	22.50	13.70	19.64
6	20-6	0.23	0.47	19.85	6.34	16.02	24.20	8.60	17.17
7	22-6	0.23	0.60	27.62	5.75	17.55	26.50	15.10	21.96
8	26-6	0.17	0.49	26.85	5.60	17.58	20.00	10.30	16.24
9	27-6	0.23	0.57	20.95	6.24	15.71	20.20	16.60	18.39
10	13-12	0.47	0.63	14.90	1.45	9.01	32.50	27.80	30.32
11	18-12	0.49	0.60	12.69	3.01	9.33	34.30	28.10	31.32
12	18-12	0.39	0.62	16.10	-0.15	11.74	34.40	29.60	31.69
13	21-12	0.3	0.58	19.49	9.50	15.89	35.00	30.00	33.79
14	22-12	0.07	0.33	50.00	27.74	45.02	35.00	29.00	31.20

Tabla 1: resultados de eficiencia, salto térmico y temperatura ambiente.

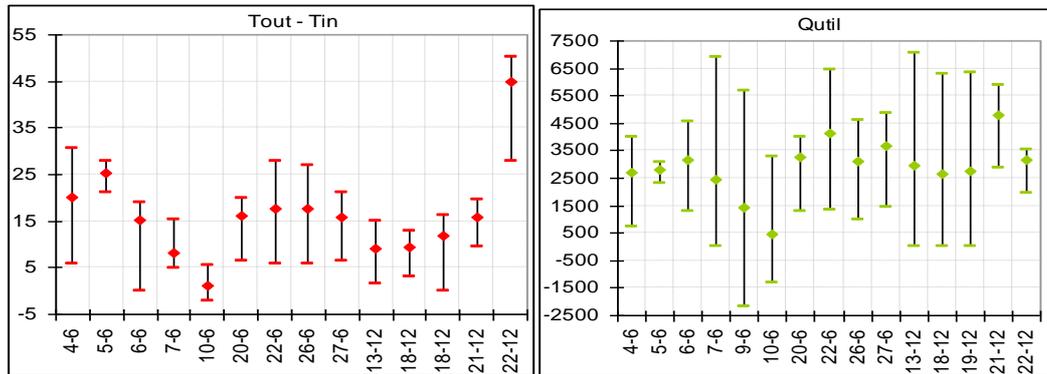


Figura 6. Salto térmico en colector. Figura 7. Potencia generada.

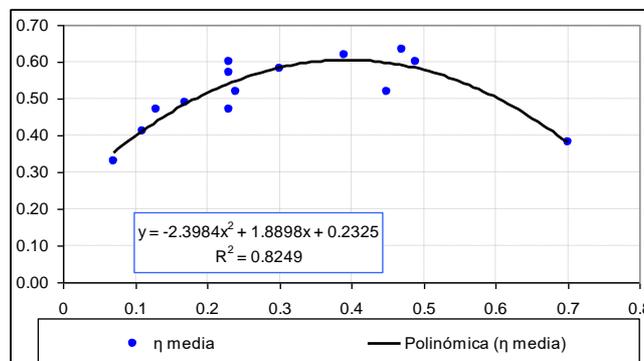


Figura 8. Eficiencia media de colector en función del caudal circulante.

23 al 27 de noviembre de 2020

Modelo físico y simulación del prototipo.

Por razones de espacio solo se reseñarán los aspectos fundamentales del modelado. Los balances de energía en las superficies del colector son:

$$\text{Cubierta: } h_{r,p-c}(T_p - T_c) + h_1'(T_{f1} - T_c) = h_w(T_c - T_{amb}) + h_{r-cie}(T_c - T_{amb}) \quad (2)$$

$$\text{Absorbedor: } \frac{m_p C_{p,p}}{W'} \frac{\partial T_p}{\partial t} = S_o(\tau_c \alpha_a) - h_1(T_p - T_{f1}) - h_2(T_p - T_{f2}) - h_{r,p-c}(T_p - T_c) - h_{r,p-b}(T_p - T_b) \quad (3)$$

$$\text{Flujo canal superior: } h_1(T_p - T_{f1}) = mrC_p/W(dT_{f1}/dz) + h_1'(T_{f1} - T_c) \quad (4)$$

$$\text{Flujo canal inferior } h_2(T_p - T_{f2}) = m(1-r)C_p/W(dT_{f2}/dz) + h_2'(T_{f2} - T_b) \quad (5)$$

$$\text{Cuerpo de colector } h_2'(T_f - T_b) + h_{r,p-b}(T_p - T_b) = U_{b-a}(T_b - T_{amb}) \quad (6)$$

Los coeficientes convectivos internos se calcularon mediante Chamoli (2012):

$$Nu = \left(\frac{hD_h}{k} \right) = 0.333 Re_{Dh}^{0.8} Pr^{1/3}, \text{ con } Re_{Dh} = \frac{\dot{m}D_h}{\mu A} \quad (7)$$

Con el método del símil eléctrico se modeló el colector y se simuló con Simusol. Se discretizó el colector en diez volúmenes de control, figura 9.

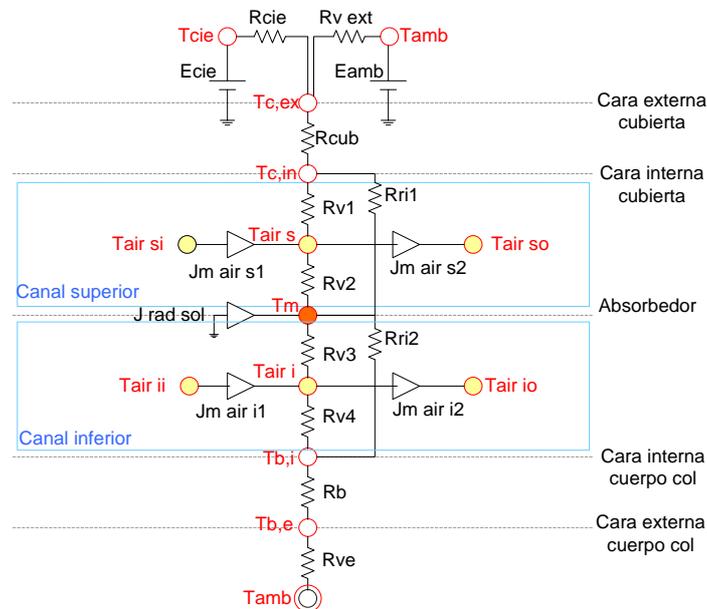


Figura 9. Diagrama de circuito térmico para un volumen de control arbitrario.



23 al 27 de noviembre de 2020

Resultados de simulación:

La tabla 2 muestra un resumen de los resultados simulados. Se muestran las eficiencias promediadas en un lapso de una hora (12:40 a 13:40), para los resultados simulados (azul) y los medidos (rojo). De ella, los resultados simulados son comparables a los medidos, con diferencias entre los valores medios diarios menores a 1 °C para la mayor parte del lote de datos. De igual manera, los máximos conciden adecuadamente, aunque la diferencia es mayor, hasta 5 °C.

La figura 10 grafica los valores de eficiencia en función de flujo de aire. Los puntos azules representan los valores de eficiencia en base a datos medidos; y los puntos violetas los resultados por simulación. Se observa que existe un ajuste de los valores simulados respecto a los medidos, aunque con un sobre dimensionamiento de los resultados simulados, inferior al 10%.

fecha	flujo	η_s prom	η_m med	$(To-Ti)m-max$	$(To-Ti)m-med$	$(To-Ti)s-max$	$(To-Ti)s-med$
4-6	0.13	0.43	0.47	30.54	20.05	29.09	23.63
6-6	0.11	0.38	0.41	27.85	25.30	27.25	24.18
6-6	0.24	0.52	0.52	18.84	15.09	18.84	15.09
7-6	0.45	0.62	0.52	15.25	8.31	10.92	9.80
10-6	0.7	0.39	0.38	5.40	1.21	7.00	2.88
20-6	0.23	0.5	0.47	19.85	16.02	20.98	18.10
22-6	0.23	0.58	0.60	27.62	17.55	19.94	17.51
26-6	0.17	0.49	0.49	26.85	17.58	22.86	19.83
27-6	0.23	0.53	0.57	20.95	15.71	21.12	16.24
13-12	0.47	0.648	0.63	14.90	9.01	16.62	9.76
18-12	0.49	0.64	0.60	12.69	9.33	13.58	10.59
18-12	0.39	0.63	0.62	16.10	11.74	18.91	12.63
21-12	0.3	0.578	0.58	19.49	15.89	20.66	16.64
22-12	0.07	0.31	0.33	50.00	45.02	47.71	39.40

Tabla 2: Resumen de resultados promedios. Azul: simulados. Rojo: medidas.

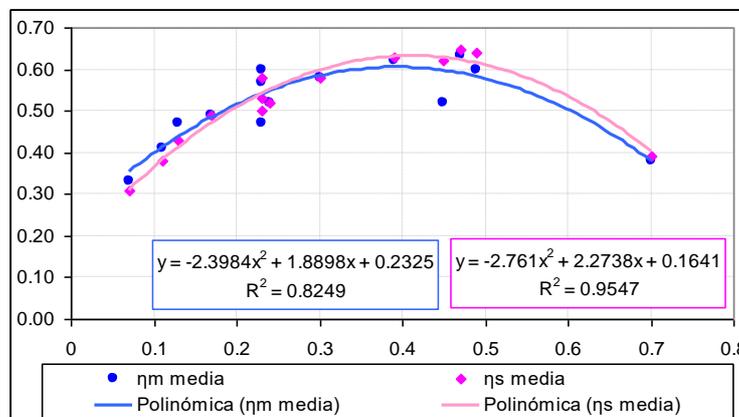


Figura 10. Eficiencia medida y simulada en función del caudal de aire en colector.



23 al 27 de noviembre de 2020

Conclusiones.

Se presentó el diseño, la construcción y los ensayos realizados sobre un prototipo de colector solar de aire, con absorbedor de chapa galvanizada ondulada, y paso paralelo de aire por arriba y debajo del absorbedor. De acuerdo a lo observado, y considerando los resultados obtenidos en este prototipo y en la bibliografía, el paso paralelo del flujo de aire por arriba y debajo del absorbedor lleva mejorar el área de contacto superficial del flujo circulante con el absorbedor, incrementando, de esta manera la eficiencia térmica del colector solar de aire.

Se ha presentado también los modelos físicos y la simulación computacional del colector. Se observa un ajuste adecuado, aunque con ligeros sobredimensionamientos, entre los resultados medidos y simulados.

Referencias:

- Ben Slama Romdhame. (2007). "The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer". *Solar Energy* 81 (2007) 139–149
- Plotter K., Sippel C.M., Beck A., and Fricke A (1999). "Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors". *Solar Energy* Vol. 67, Nos. 1–3, pp. 35–52, 1999.
- Metwally M. N., Abou-Ziyan H. Z., El-Leathy A.M. (1997). "Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional designs". *RenewableEnergy*, Vol 10, No 4, pp 519-537.
- Wijesundera NE, Tyioe LE, 1982. "Thermal performance study of two pass solar air heaters". *Solar Energy* 28(5), 363–380.
- Karsili, S: Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy* 32 (2007) 1645–1660
- Chamoli. S, Chauan. R, Thakur. NS, Saini, JS (2012). A review of the performance of double pass solar air heater. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 481-492. Elsevier.